

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

- 空間光変調素子に照明光を照射する光源と、
この光源と前記空間光変調素子との間に配され、前記照明光を光学素子に通
5 すことによってその強度分布を均一化するオプティカルインテグレータとを備
えてなる照明光学系において、
前記オプティカルインテグレータの光学素子の対角長が4 mm以下であるこ
とを特徴とする照明光学系。

【請求項 2】

- 10 前記光源のエタンドューが $1 \text{ mm}^2 \cdot \text{str}$ (ステラジアン) 以下であることを
特徴とする請求項 1 記載の照明光学系。

【請求項 3】

- 前記光源が、レーザーと、該レーザーから発せられたレーザー光を伝搬させ
て射出する光ファイバーとからなるものであることを特徴とする請求項 1 また
15 は 2 記載の照明光学系。

【請求項 4】

- 前記光源が、複数のレーザーから発せられた各レーザー光を 1 本の光ファイ
バーに入射させて合波し、
さらにこの光ファイバーを複数並べてバンドル状とした構成を有するもので
20 あることを特徴とする請求項 3 記載の照明光学系。

【請求項 5】

- 前記空間光変調素子がDMDであることを特徴とする請求項 1 から 4 いずれ
か 1 項記載の照明光学系。

【請求項 6】

- 25 請求項 1 から 5 いずれか 1 項記載の照明光学系から発せられた照明光を前記
空間光変調素子により所定の画像信号に基づいて変調し、この変調された照明
光による光像で感光材料を露光させる構成を有することを特徴とする露光装置。

【請求項 7】

- 請求項 1 から 5 いずれか 1 項記載の照明光学系から発せられた照明光を前記
30 空間光変調素子により所定の画像信号に基づいて変調し、この変調された照明
光による光像で感光材料を露光させることを特徴とする露光方法。

【書類名】

明細書

【発明の名称】

照明光学系およびそれを用いた露光装置並びに露光方法

【技術分野】

5 本発明は照明光学系に関し、特に詳細には、レーザーから発せられた照明光をオプティカルインテグレータに通してその強度分布を均一化するようにした照明光学系に関するものである。

また本発明は、上述のような照明光学系から発せられた後に変調された照明光を感光材料に照射して、該感光材料を露光させる露光装置および露光方法に関するものである。

10 【背景技術】

従来、LCD（液晶表示素子）やDMD（デジタル・マイクロミラー・デバイス）等の2次元空間光変調素子を光源からの光で照明し、この空間光変調素子で変調された光で感光材料を露光させるようにした露光装置が知られている。この種の装置においては、空間光変調素子を均一に照明する必要があり、その
15 ため照明光学系にはオプティカルインテグレータが組み込まれている。このように照明光の強度分布を均一化するオプティカルインテグレータは、露光装置以外にもプロジェクタ等で一般に使用されている。

オプティカルインテグレータとは、光束を分割し、異なる経路を通した後再合成することにより、強度と位置の相関関係（強度分布）を解消して均一化するものであるが、光束の分割方式の違いにより、大別して2つの方式がある。
20 一つは、複数のレンズを2次元的に配置してなるレンズアレイ（フライアイレンズ）を使用して空間的に光束を分割するフライアイタイプであり、もう一つは、ガラスのロッドや内面をミラーにした中空のロッドを使用して、光束を多重反射により角度的に分割するロッドタイプである。なお、フライアイタイプの
25 オプティカルインテグレータにおけるレンズ形状や、ロッドタイプのオプティカルインテグレータにおける断面形状を、照明する空間光変調素子と相似形状にすることにより、光源と空間光変調素子の形状が互いに異なっても効率良く照明することが可能である。

特許文献1には、上述のようなオプティカルインテグレータを用いた照明光学系
30 の一例が開示されている。

なお、上記オプティカルインテグレータを使用する照明光学系が適用されるプロジェクタ等の光学装置においては、従来、アスペクト比が4：5程度でレンズセルサイズが5～10mm程度のフライアイレンズが使用されている。

【特許文献1】

35 特開平9-68667号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、上記オプティカルインテグレータを用いた従来の照明光学系においては、放電ランプのようなエタンドュー（Etendue：これについては後に詳述する）の大きな光源を使用していたため、照明光率を向上させようとするとき被
5 照明体側の開口数NA（以下、照明NAという）を大きくする必要があり、プロジェクタのような拡大投影装置ではなく、空間光変調素子を等倍あるいは縮小投影して感光材料を露光する露光装置に適用すると、焦点深度が小さくて画像品質が悪くなるという問題があった。その一方、焦点深度を大きくするために照明NAを小さくすると、光学系の全長が大きくなりやすく、そのため、こ
10 の照明光学系を適用する露光装置等の大型化が避けられなくなったり、物理的なレイアウトが困難になってしまう等の問題が認められていた。

本発明は上記の事情に鑑み、全長を短く形成することができる、オプティカルインテグレータを用いた照明光学系を提供することを目的とする。

また本発明は、上述のような照明光学系を適用して、小型に形成することができる露光装置、並びに上記照明光学系を用いる露光方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

本発明による照明光学系は、

前述したDMD等の空間光変調素子に照明光を照射する光源と、
20 この光源と空間光変調素子との間に配され、前記照明光を光学素子に通すことによってその強度分布を均一化するオプティカルインテグレータとを備える照明光学系において、

オプティカルインテグレータの光学素子の対角長が4 mm以下であることを特徴とするものである。

25 ここで上記光学素子の対角長とは、フライアイタイプのオプティカルインテグレータにおいては各レンズセルの対角長を意味し、一方ロッドタイプのオプティカルインテグレータではロッド断面の対角長を意味する。

なお上記構成を有する本発明の照明光学系において、光源のエタンドューは $1\text{ mm}^2 \cdot \text{str}$ （ステラジアン）以下であることが望ましい。また本発明の照明
30 光学系において、光源は、複数のレーザー光を1本の光ファイバーに入射させて合波し、さらにこの光ファイバーを複数並べてバンドル状とした構成のものを好適に用いることができる。すなわち、この種の光源は、非常に高出力でありながら、エタンドューが小さいので、本発明の照明光学系において好ましく用いられ得るものである。

35 一方、本発明による露光装置は、上述の照明光学系から発せられた照明光を前記空間光変調素子により所定の画像信号に基づいて変調し、この変調された

照明光による光像で感光材料を露光させる構成を有するものである。

また本発明による露光方法は、上述の照明光学系から発せられた照明光を前記空間光変調素子により所定の画像信号に基づいて変調し、この変調された照明光による光像で感光材料を露光させることを特徴とするものである。

5 【発明の効果】

図1 a および b は、後述の図4に基本構成を示す、フライアイタイプのオブティカルインテグレータを用いた照明光学系におけるレンズセルの対角長と光学系全長との関係を、それぞれ照明 $NA=0.019$ 、 0.05 の場合について示すものである。これらの図に示される通り、レンズセルの対角長が4 mmを超えると、
10 光学系全長は急に長くなる傾向にある。本発明の照明光学系では、この新しい知見に鑑みてオブティカルインテグレータの光学素子の対角長を4 mm以下にするものであり、それにより、光学系の全長を著しく短く抑えることが可能になる。

なお、上では、フライアイタイプのオブティカルインテグレータを用いる照明光学系について説明したが、前述したロッドタイプのオブティカルインテグ
15 レータを用いる照明光学系においても、オブティカルインテグレータのロッド断面の対角長と光学系全長との関係については同様のことが言える。

また本発明の照明光学系において、特にエタンドューが小さい（例えば $1\text{ m}^2 \cdot \text{str}$ 以下）光源を用いると、照明効率を落とすことなく、照明 NA を小さくすることができ、それにより、被照明体の後段に配される光学系の焦点深度
20 を大きくしたり、あるいはビームを絞ることが可能になる。そのようにすれば、例えば照明光学系を露光装置に適用した場合に、被照明体の後段に配される結像光学系で結像される露光画像のピントがずれてしまう、といった問題が生じることを防止可能となる。

以下、このエタンドューと照明 NA との関係について詳しく説明する。上記
25 のような露光装置やプロジェクタでは、光源として超高压水銀ランプのような放電ランプが良く使用されているが、このようなランプを使用する場合、特に感光材料を露光する露光装置では、焦点深度が非常に小さいという問題がある。焦点深度が小さいという問題は、エタンドューの概念から考えると明確になる。

まず、エタンドューの詳細について、図2を参照して説明する。空間光変調
30 素子を照明するということは、大まかに言えば（工夫して均一分布にするにしても）、ある光源の像を空間光変調素子に結像するということである。ここで、光源の面積を S_1 、光学倍率を β とすると、図2に示すように、像の面積 S_2 は β^2 に比例し（ $S_2 = \beta^2 S_1$ ）、光線と光軸のなす角 θ は倍率 β に逆比例する（ $\theta_2 = \theta_1 / \beta$ ）。つまり、 $S_1 \theta_1^2 = S_2 \theta_2^2$ となる。ここで、立体角 Ω は θ^2 に
35 ほぼ比例するので、 $\Omega_1 \cdot S_1 \doteq \Omega_2 \cdot S_2$ すなわち、光源面積と立体角の積は

一定となる。

厳密に考えると、理想レンズによる光束の伝達は、

$$\text{光束: } e = \int S \int \Omega \cos \theta \cdot dS \cdot d\Omega$$

で表される。 θ が十分小さい (F 値 2.5 以上) ときには、 $\cos \theta \approx 1$ であるので、

5 光束: $e = \Omega_1 \cdot S_1 \approx \Omega_2 \cdot S_2$

とみなせる。この $\Omega \cdot S$ がエタンデューである。理想的な無収差・透過率 100% の光学系を想定すると、エタンデューは保存される。なお、理想レンズを挟んだ両側の光学系が共役な関係になくても、エタンデューは保存されることが知られている。つまり、光源側のエタンデューとは、光源から発せられる光束の空間的拡がりを表し、照明される側 (空間光変調素子側) のエタンデューとは、受け入れることのできる光束の空間的拡がりを表している。

ここで、計算例を示す。

<光源側のエタンデュー E_s >

(1) アーク長 4 mm の放電ランプの場合

15 光源を直径 1 mm、長さ 4 mm の円柱とし、側面から等方的に光が放出されるものとする、

$$E_s = \pi \cdot 1 \cdot 4 \cdot 2\pi \approx 80 \text{ mm}^2 \cdot \text{str (ステラジアン)}$$

(2) ファイバ光源の場合

20 一例として、レーザー光を伝搬させる光ファイバが複数、バンドル状に配設されてなる光源を考える。バンドルの出射部サイズが $0.7 \times 0.7 \text{ mm}$ 、光ファイバの開口数 NA が 0.2 ($\approx 11.5^\circ$) とすると、

$$E_s = 2\pi \cdot (1 - \cos 11.5) \cdot 0.7 \cdot 0.7 \approx 0.06 \text{ mm}^2 \cdot \text{str}$$

となり、この場合はエタンデューが非常に小さいものとなる。

25 <空間光変調素子側のエタンデュー E_c および上記光源側エタンデュー E_s から求められる空間光変調素子側の光入射角度 (照明 NA)>

一例として空間光変調素子の画素数を 1024×768 、画素ピッチを $13.68 \mu\text{m}$ とし、損失が無いとした場合について計算する。

(1) 上記放電ランプの場合

30 $E_s = E_c = 2\pi \cdot (1 - \cos \theta) \cdot 1024 \cdot 768 \cdot 13.68^2 / 1000^2 = 80 \text{ mm}^2 \cdot \text{str}$

$$\text{照明 NA} = \sin \theta \approx 0.4$$

(2) 上記ファイバ光源の場合

$$E_s = E_c = 2\pi \cdot (1 - \cos \theta) \cdot 1024 \cdot 768 \cdot 13.68^2 / 1000^2 = 0.06 \text{ mm}^2 \cdot \text{str}$$

35 照明 NA = $\sin \theta \approx 0.01$

以上から明らかな通り、光源側のエタンデュー E_s が小さいほど照明 NA を

小さくすることができる。

- また、エタンデューから考えると、光源側のエタンデュー E_s と照明される空間光変調素子側のエタンデュー E_c が $E_s < E_c$ の関係にあるとき、途中の光学系の損失が無ければ、光源からの光を全て利用できるようになる。しかし、
- 5 光源に上記のようなランプを使用した場合、ランプのエタンデューが大きいため、効率良く照明するためには、照明 NA を非常に大きくしなければならない。

- 例えば、上述した通りアーク長 4 mm の放電ランプで、画素数 1024×768 、画素ピッチ $13.68 \mu\text{m}$ の空間光変調素子を照明する場合、放電ランプのエタンデューは約 $80\text{mm}^2 \cdot \text{str}$ であり、空間光変調素子のエタンデューを同じにして効率
- 10 良く照明するためには、照明 NA を 0.4 にしなければならない。空間光変調素子の像を結像レンズで感光材料に結像して露光し、空間光変調素子からの光を効率良く使用するためには、当然結像レンズの NA も 0.4 以上 (F 値では 1.25) とする必要があり、そうであると結像レンズの焦点深度は非常に小さくなってしま

- 15 図 3 は、光源側エタンデュー E_s が比較的大きくて照明 NA も大きい場合 (a) と、光源側エタンデュー E_s が比較的小さくて照明 NA も小さい場合 (b) について、結像レンズの焦点深度を比較して示すものである。ここに示される通り、一般に幾何光学的に考えれば、レンズの NA が小さいほど焦点深度は大きくなる。

- 20 例えば許容錯乱円直径を $10 \mu\text{m}$ とすると、照明 NA に応じて焦点深度は以下の (表 1) ようになる。照明光学系を露光装置に適用する場合の焦点深度は、記録ビーム径や解像度などにもよるが、記録材料のうねりや温度によるピント位置変化も考慮すると、 $\pm 100 \mu\text{m}$ 以上であることが望ましい。そこから考えると、照明 NA も 0.05 以下であることが望ましく、さらに好ましくは 0.02 以下で
- 25 あると良い。

【表 1】

☆

- 光源側エタンデュー E_s が大きい場合は、温度変動や機械的な変動が装置に生じたり、感光材料の厚さバラツキや反りなどがあると、焦点深度が非常に小
- 30 さいことから、露光画像のピントがずれてしまうという問題が発生する。

それに対して、例えば上記ファイバ光源を用いる場合、光源側のエタンデュー E_s は $0.06\text{mm}^2 \cdot \text{str}$ で、照明 NA は約 0.01 と極めて小さくなり、結像レンズの焦点深度が大きくなって、上記ピントずれの問題を防止可能となる。

- ただし、このようにエタンデュー E_s の小さい光源を使用する場合でも、プ
- 35 ロジェクタ等で使用される一般的なレンズセルサイズのフライアイレンズを適用すると、照明 NA を小さくするには各レンズのサイズが大きいことから、光

学系全体のサイズが大きくなってしまふ。そこで本発明では、あくまでも前述した通り、光学素子の対角長が4mm以下であるオプティカルインテグレータを使用するものとする。

【発明を実施するための最良の形態】

5 以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

図4は、本発明の一実施の形態による照明光学系の概略構成を示すものである。この照明光学系は、被照明体である2次元空間光変調素子(SLM)10に照明光11を照射する光源12と、この光源12から発散光状態で発せられた照明光11を平行光化するコリメーターレンズ13と、このコリメーターレンズ13と2次元SLM10との間に配され、照明光11を光学素子に通すことによってその強度分布を均一化するオプティカルインテグレータ20とを備えてなるものである。

本実施の形態では上記光源12として、複数のレーザー光を1本の光ファイバーに入射させて合波し、さらにこの光ファイバーを複数並べてバンドル状とした構成のファイバー光源が用いられている。

15 オプティカルインテグレータ20は、フライアイレンズML1と、このフライアイレンズML1と向かい合う状態に配設された別のフライアイレンズML2と、このフライアイレンズML2の前方つまり2次元SLM10側に配置されたフィールドレンズFLとから構成されている。フライアイレンズML1およびML2は、微小レンズセルが縦横に多数配置されてなるものであり、それらの
20 微小レンズセルの各々を通過した照明光11がそれぞれ2次元SLM10に互いに重なる状態で入射するので、該2次元SLM10を照射する照明光11の強度分布が均一化される。

一方2次元SLM10として、本実施の形態ではDMD(デジタル・マイクロミラー・デバイス)が用いられている。このDMDはシリコン等からなる半導
25 体基板上に、制御信号に応じて反射面の角度が変化する多数のマイクロミラーが2次元的に配設されてなるものであり、そこに広がりを持って照射された照明光11を画像データに応じて各マイクロミラー毎に角度を変えて反射させることにより、該照明光11を空間変調する。

ここで、光源サイズつまりファイバー光源12の光射出部サイズを A_0 、光源NAを NA_0 、コリメーターレンズ13の焦点距離を $CL2f$ とし、フライアイ
30 レンズML1についてはセルサイズを S_1 、レンズセル数を N_1 、レンズサイズを A_1 、焦点距離を $ML1f$ 、各レンズセルによる集光サイズを Z_1 、フライアイレンズML2についてはセルサイズを S_2 、レンズセル数を N_2 、レンズサイズを A_2 、焦点距離を $ML2f$ とする。またフィールドレンズFLのレンズサイズを FLD 、焦点距離を FLf とし、2次元SLM10の照明サイズを
35 ACS 、照明NAを NAC とする。なお本実施の形態では、 $S_2 = S_1$ 、 N_2

=N1、A2=A1としているが、勿論これに限られるものではない。

またこの場合、光学系の全長つまりマルチモード光ファイバー12の出射端面から2次元SLM10までの距離は、図4中に示すように、上記出射端面からコリメーターレンズ13までの距離L1(=CL2f)と、コリメーターレンズ13からフライアイレンズML1までの距離L2(=CL2f)と、フライアイレンズML1からフライアイレンズML2までの距離L3(=ML1f)と、フライアイレンズML2から2次元SLM10までの距離L4との総和となる。

またこの照明光学系においては、 $A0 \cdot NA0 = A1 \cdot NA1 = N1 \cdot S1 \cdot NA1$ であり、結像特性は $(1/L3) + (1/L4) = 1/ML2f$ 、倍率特性は $ACS/S1 = L4/L3$ 、集光特性は $Z1 = 2ML1f \cdot NA1$ 、照明F値(FNo.)は $FNo. = FLf/FLD \approx L4/A2$ となる。

以上の各仕様並びにその他の仕様について、本実施の形態における具体的数値を下の表2の左欄に示す。また、それに対する比較例としての数値を3例、表3に示す。なおこれらの表中のx、yは、光軸に垂直な面内の横方向、縦方向を示している。

【表2】

★

【表3】

★

表2に示される通り、本実施の形態において、オプティカルインテグレータを構成するフライアイレンズML1、ML2の各レンズセルの対角長は共に $(2^2 + 0.5^2)^{1/2} = 2.1\text{mm}$ で、前述の4mm以下の値とされている。そのため、先に図1を参照して説明した理由により、光学系全長が約114mmと短く抑えられている。

また表2の右欄には、本実施の形態と同様の基本構成を有する照明光学系の別の仕様例を示す。この例においては、フライアイレンズML1、ML2の各レンズセルの対角長は共に $(3.88^2 + 0.97^2)^{1/2} = 4.0\text{mm}$ で、4mm以下の値とされている。そのため、本例でも光学系全長は約524mmと短く抑えられている。

それに対して表3に示す比較例では、上記各レンズセルの対角長が $(10^2 + 2.5^2)^{1/2} = 10.3\text{mm}$ と大きいので、光学系全長がそれぞれ約289mm、744mm、1711mmと比較的大きくなっている。

また本実施の形態において、光源エタンドューは1以下の $0.0086895\text{mm}^2 \cdot \text{str}$ と小さく、それにより照明NA(NAC)は上記2例で各々0.05、0.0185014と極めて小さくなっている。そこで、2次元SLM10の後段に結像レンズを配設する場合は、その結像レンズの焦点深度が大きくなって、先に述べたようなピントずれの問題を防止可能となる。

それに対して表 3 の最左欄に示す比較例では、光源エタンデューは $1.5868265 \text{ mm}^2 \cdot \text{str}$ と大きく、それにより照明 NA (NAC) は 0.25 とかなり大きくなっている。そこで、2 次元 SLM10 の後段に結像レンズを配設する場合は、その結像レンズの焦点深度が小さくなるので、先に述べたピントずれの問題を招きやすい。

また表 3 の中央欄、最右欄に示す比較例では、光源エタンデューは本実施の形態と同じ $0.0086895 \text{ mm}^2 \cdot \text{str}$ で、それにより照明 NA (NAC) はそれぞれ 0.05、0.0185185 と極めて小さくなっている。そこで、この場合も上記ピントずれの問題は防止可能であるが、これらの比較例ではセルサイズが大きいために光学系全長が約 744mm、1711mm と極めて大きくなることは、上に説明した通りである。光学系全長が後者の例ほどに大きいと、一般的な室内に照明光学系を収めることさえ困難になる。

次に図 5 を参照して、図 4 の照明光学系を用いた露光装置について説明する。なおこの図 5 において、図 4 中の要素と同等の要素には同番号を付し、それらについての説明は特に必要のない限り省略する（以下、同様）。

この露光装置においては、図 4 に示した照明光学系の 2 次元 SLM10 の後段に結像レンズ 30 が配され、2 次元 SLM10 で空間変調された照明光 11 による像がこの結像レンズ 30 によってステージ 31 上の感光材料 32 上に結像、投影されるようになっている。それにより感光材料 32 が露光され、空間変調された照明光 11 による像が該感光材料 32 に記録される。

このような露光装置に図 4 の照明光学系を適用すれば、照明光学系の全長が短いことにより露光装置を小型に形成可能となり、また照明 NA (NAC) が小さいことから結像レンズ 30 の焦点深度が大きくなり、それにより、露光画像のピントずれを効果的に防止可能となる。

次に図 6 を参照して、本発明の別の実施の形態による照明光学系について説明する。この実施の形態においてはオプティカルインテグレータとして、概略直方体状の透光性ガラスロッド 40 が用いられている。光源を構成するマルチモード光ファイバー 12 から出射した照明光 11 は、集光レンズ 41 により集光されてこのガラスロッド 40 内に導かれ、その内部で多重反射して角度的に分割され、強度分布が均一化されて出射する。こうしてガラスロッド 40 から出射した照明光 11 は、集光レンズ 42 により集光されて 2 次元 SLM10 に照射される。

上記ガラスロッド 40 をオプティカルインテグレータとして用いる本実施の形態においても、このガラスロッド 40 の断面の対角長を 4 mm 以下にしておくことにより、光学系の全長を著しく短く抑えることが可能になる。

なお以上説明した実施の形態においては、光源としてファイバー光源 12 が用いられているが、本発明ではそのような光源に限らず、その他例えば通常の 1

個の半導体レーザーや、あるいは複数の発光点を有するマルチキャビティ半導体レーザーや、さらには複数の半導体レーザーがアレイ状に配設されてなるアレイレーザー等も好適に使用することができる。

【図面の簡単な説明】

5 【図 1 a】

照明光学系におけるオプティカルインテグレータのレンズセル対角長と光学系全長との関係を示すグラフ（照明NA=0.019の場合）

 【図 1 b】

10 照明光学系におけるオプティカルインテグレータのレンズセル対角長と光学系全長との関係を示すグラフ（照明NA=0.05の場合）

 【図 2】

 エタンデューの概念を説明する説明図

 【図 3】

 照明光学系における照明NAと焦点深度との関係を示す説明図

15 【図 4】

 本発明の一実施の形態による照明光学系を示す概略側面図

 【図 5】

 図 4 の照明光学系を適用した露光装置を示す概略側面図

 【図 6】

20 本発明の別の実施の形態による照明光学系を示す概略側面図

 【符号の説明】

- | | |
|----|--------------------|
| 10 | 2次元SLM |
| 11 | 照明光 |
| 12 | ファイバー光源 |
| 25 | 13 コリメーターレンズ |
| | 20 オプティカルインテグレータ |
| | 30 結像レンズ |
| | 31 ステージ |
| | 32 感光材料 |
| 30 | 40 ガラスロッド |
| | 41、42 集光レンズ |
| | ML 1、ML 2 フライアイレンズ |
| | FL フィールドレンズ |

【書類名】 図面

35 【図 1 a】

★

【図 1 b】

★

【図 2】

★

5 【図 3】

★

【図 4】

★

【図 5】

10 ★

【図 6】

★

【書類名】

要約書

【要約】

15 【課題】 オプティカルインテグレータを用いて照明光の強度分布を均一化するようにした照明光学系において、その全長を短くする。

【解決手段】 2次元SLM等の被照明体10に照明光11を照射するレーザーからなる光源12と、この光源12と被照明体10との間に配され、照明光11を光学素子に通すことによってその強度分布を均一化するオプティカルインテグレータ20とを備えてなる照明光学系において、オプティカルインテグレータ20の光学素子の対角長を4 mm以下とする。

20

【選択図】

図 1